



**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA**  
**FACULTAD DE ELECTROTECNIA Y COMPUTACION**

**INFORME FINAL DE TRABAJO MONOGRAFICO PARA OBTAR AL TITULO DE  
INGENIERO EN ELECTRONICA**

**PROTOTIPO DE SISTEMA DE ALMOHADILLA ELECTRICA PARA  
REHABILITACION CORPORAL POR TERMOTERAPIA SUPERFICIAL Y  
CRIOTERAPIA.**

Realizado por: Br. Jossue Eliw Alfaro Casco

Tutor: Ing. Carlos Alberto Ortega Huembes

Managua, 25 de octubre de 2019.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Dedicatoria.

A Dios sobre todas las cosas, por darme vida y por darme la fortaleza para superar cada uno de los obstáculos que se han presentado en mi vida.

A mis padres, Roberto Alfaro y Esperanza Casco, pilares principales para mi desarrollo personal, por siempre creer en mí y darme el apoyo emocional necesario para poder alcanzar mis metas.

A mis familiares, en especial a mi Tío Pedro Alfaro, por ser esa persona luchadora y de muy buenos ejemplos y por permitirme aprender que, a pesar de lo complicado de la vida, siempre se debe luchar.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Agradecimiento.

A mis padres, Roberto y Esperanza, por enseñarme a luchar y a no darme por vencido y por brindarme la oportunidad y el apoyo económico para culminar mis estudios universitarios y así cumplir con una meta profesional en mi vida.

A mi tutor monográfico, Ingeniero Carlos Alberto Ortega Huembes, por su dedicación y asesoramiento para la realización de este trabajo.

A los profesores, por haberme permitido aprender de ellos a través de sus conocimientos y experiencias por medio de las clases impartidas durante la carrera de Ingeniería Electrónica.

A todas las personas que directa o indirectamente me ayudaron y apoyaron para la elaboración de este proyecto.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Resumen.

En este documento que se presenta como método de culminación de estudios para optar al título de Ingeniero Electrónico, basado en la problemática encontrada en la visita al Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría del departamento de Managua, la cual radica en la falta de efectividad, eficiencia y uso de tecnología para la implementación de rehabilitación corporal por medio de Termoterapia superficial y Crioterapia, se propone una solución la cual brindaría una mejora sustancial no solamente en el paciente sino también al operador del sistema.

Para darle solución al problema de efectividad y eficiencia, se optó por crear un dispositivo capaz de controlar la temperatura, de cada uno de los métodos mencionados anteriormente, usando un sistema de control de Encendido/Apagado, que permite el ajuste necesario para cada rango de temperatura (modificable por el operador) usando como actuador una Celda Peltier TEC1-12706, por medio de un microcontrolador Arduino UNO. Además, se creó un contador ajustable por el operador y que finaliza automáticamente la sesión al llegar al tiempo estipulado, permitiendo un ahorro en el tiempo de espera entre cada paciente y permitiendo una mejor efectividad en la clínica donde se realice la fisioterapia.

Se presenta cada una de las etapas que forman el prototipo de Almohadilla Eléctrica, incluyendo el desarrollo de hardware y software cuando es necesario y los cálculos para la elaboración de la fuente de alimentación que proporciona energía al sistema.

El documento termina con las conclusiones obtenidas por la elaboración del sistema y con las recomendaciones necesarias de acuerdo al interés con que el proyecto será usado.



# “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

## Índice de Contenido.

Capítulo 1 Bases teóricas del proyecto. ....	1
I. Introducción. ....	1
II. Antecedentes. ....	3
III. Justificación. ....	5
IV. Objetivos.....	6
Objetivo General. ....	6
Objetivos Específicos: ....	6
V. Marco Teórico.....	7
V.I. Termoterapia.....	7
V.II. Termoterapia superficial.....	9
V.III. Crioterapia. ....	10
V.IV. Dispositivos termoelectrónicos – Celda Peltier.....	12
V.V. Control para la temperatura (Encendido/apagado).....	13
V.VI. Variables.....	15
Capítulo 2 Diseño del Prototipo. ....	17
I. Diagrama de bloque.....	17
I.I. Entradas.....	18
I.II. Visualización. ....	19
I.III. Actuadores.....	21
I.IV. Sensores. ....	23
I.V. Etapa de control. ....	24
I.VI. Fuente de alimentación. ....	29
Capítulo 3 Construcción y resultados del prototipo. ....	33
I. Construcción.....	33
II. Presupuesto total. ....	40
III. Resultados prácticos.....	41
Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones.....	42
I. Conclusiones. ....	42
II. Recomendaciones. ....	43
Bibliografía.....	45



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Anexos. ....	46
I. Manual de Operación.....	46
II. Simulación total en Proteus del prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por termoterapia superficial y crioterapia .....	47
III. Código de programación.....	48



# “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

## Índice de Figuras.

Figura 2-1. Sist. Termoterapia superficial (Compresa caliente) en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría. ....	9
Figura 2-2. Sist. Crioterapia utilizado en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría. ....	12
Figura 2-3. Explicación grafica del Efecto Peltier en una celda. ....	13
Figura 2-1. Diagrama de bloque Prototipo de Sistema de rehabilitación. ....	17
Figura 2-2. Ejemplo de pulsador. ....	18
Figura 2-3. Ejemplo de Pantalla 16X2 y Modulo I2C. ....	20
Figura 2-4. Ejemplo diodo LED. ....	20
Figura 2-5. Zumbador MB12A05. ....	20
Figura 2-6. Celda TEC1-12706. ....	21
Figura 2-7. Modulo Relé SDR-05VDC-SL-C. ....	21
Figura 2-8. Driver L298. ....	22
Figura 2-9. Ejemplo Sensor LM35. ....	23
Figura 2-10. Arduino UNO. ....	25
Figura 2-11. Arduino IDE. ....	26
Figura 2-12. Diagrama de Flujo. ....	28
Figura 2-13. Fuente de Alimentación. ....	32
Figura 3-1. Celda Peltier sin disipador. ....	34
Figura 3-2. Celda Peltier con disipador. ....	34
Figura 3-3. Menú del Programa. ....	35
Figura 3-4. Prueba de código completo. ....	35
Figura 3-5. Almohadilla eléctrica. ....	36
Figura 3-6. Fuente de alimentación en tabla de nodos. ....	37
Figura 3-7 Método de planchado. Tarjeta de fuente de alimentación. ....	38
Figura 3-8 Tarjeta Fuente de Alimentación. ....	38
Figura 3-9. Caja o "Case" del Prototipo. ....	39
Figura 3-10 Prototipo completo. ....	39
Figura Anexo-1. Simulación completa del prototipo. ....	47



# “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

## Índice de Tablas.

Tabla 2.1. Leyenda de Pulsadores. ....	19
Tabla 2.2. Conexión Modulo I2C .....	19
Tabla 2.3. Parámetros Driver L298 según Hoja de datos. ....	22
Tabla 2.4. Parámetros Sensor LM35 según Hoja de datos. ....	24
Tabla 2.5. Parámetros para elección de controlador. ....	25
Tabla 2.6. Parámetros Arduino UNO según sitio Web de Arduino. ....	26
Tabla 2.7. Parámetros para el diseño de la Fuente de Alimentación. ....	29
Tabla 2.8. Componentes Fuente de Alimentación. ....	32
Tabla 3.1. Presupuesto del Prototipo. ....	40
Tabla 3.2 Resultados. ....	41
Tabla Anexos.1 Manual de Operación. ....	46





## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Capítulo 1 Bases teóricas del proyecto.

#### I. Introducción.

“El Dr. Jarquín mencionó que, en la actualidad en nuestro país, existen muchos hospitales públicos y privados, los cuales cuentan en su mayoría con centros de rehabilitación corporal” (F. Jarquín, comunicación personal, 24 de mayo de 2017), que brindan un servicio de fisioterapia a pacientes que han sufrido accidentes de cualquier índole, problemas de mal formación o para rehabilitación postoperatoria.

Dos de los métodos más usados en nuestros hospitales, en esta rama de la medicina, son la termoterapia superficial y la crioterapia, que son tratamientos a base de calor y frío respectivamente; las cuales entre otros objetivos sirven como relajante muscular, analgésico y antiinflamatorio, aplicándose en el área a tratar; pero debido a la falta de recursos en nuestros hospitales y clínicas, suele encontrarse con falta de equipos modernos para realizar los tratamientos, ya que estos ocupan bolsas de gel congeladas (crioterapia), en una especie de refrigeradora y compresas húmedas calientes (termoterapia superficial), calentadas por agua en un recipiente termoaislante, recipientes que esperan encendidos todo el día, generando un gasto de energía innecesario, hasta ser usadas para un paciente.

Además de lo mencionado anteriormente, este servicio que brindan a la población es un proceso tedioso y tardío, debido a que los doctores fisioterapeutas o personal encargado del área, tienen que envolver en toallas las bolsas de gel frías y compresas húmedas calientes, porque no hay otro método con el cual puedan regular la temperatura que se usa en cada uno de los tratamientos y así mismo tienen que estar al pendiente, de no sobrepasar el tiempo necesario del tratamiento para retirarlo del paciente, de lo contrario puede ocasionar otro tipo de problemas a la salud del paciente.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Es por eso que en este documento, que se presenta como método de culminación de estudios, plantea como solución un Prototipo de Sistema de almohadilla eléctrica para Rehabilitación corporal por Termoterapia superficial y Crioterapia de manera integrada utilizando celdas Peltier TEC1-12706, ayudando así al tiempo de espera de cada paciente, a su confort y a su seguridad, brindándole un dispositivo ajustado a la temperatura necesaria para cada uno de los métodos mencionados con anterioridad, evitando posibles daños colaterales en el paciente.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### II. Antecedentes.

Historiadores han descubierto que los agentes físicos terapéuticos tales como el agua, la luz, calor y frío fueron utilizados desde tiempos remotos por las civilizaciones orientales como métodos de fisioterapia. De modo que con el pasar del tiempo y el surgimiento de nuevas tecnologías, los métodos de tratamiento han ido evolucionando con el fin de no solo lograr el mismo objetivo; sino brindar confort al paciente en tratamiento. Uno de los primeros estudios realizados específicamente sobre la termoterapia, según el Dr. Cordero (2008) fue un libro titulado “Terapéutica general y aplicada de las enfermedades internas”, escrito por los autores alemanes Krause y Garré en el año 1929 (Krause & Garré, 1929). La termoterapia, como las demás ramas de la fisioterapia también ha tenido avances significativos.

Según la documentación archivada de las monografías de la Universidad Nacional de Ingeniería en la Facultad de Electrotecnia y Computación, para la carrera de Ingeniería Electrónica, no se encuentran estudios realizados con fines similares al propuesto como método de culminación de estudios.

Sin embargo, a nivel internacional se encuentran investigaciones con fines no idénticos, pero si tratando de tener el mismo objetivo en fisioterapia o al menos en la misma rama, por ejemplo:

En la Universidad Austral de Chile, en 2011 se presentó como método de culminación de estudios para optar al título de Ingeniero Electrónico, por el estudiante Luis Antonio Pontigo, un proyecto llamado “Rediseño y construcción de un termo-estimulador”, el cual tenía como objetivo mantener la temperatura constante producida por la Celda de Peltier, controlando esto con un sistema embebido en base al sistema operativo Linux, logrando así una reacción rápida y estable de la celda (Pontigo, 2011).



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Otro ejemplo claro acerca del uso de Celdas Peltier en el terreno de la fisioterapia, lo podemos encontrar en el proyecto que presentó el bachiller Alfredo Medina, con el fin de optar por el título de Ingeniero Electrónico en la Pontificia Universidad Católica del Perú en 2013, el proyecto tiene como nombre “Desarrollo de un dispositivo para terapia térmica superficial con control digital, basado en el principio Peltier” (Medina, 2013), este proyecto se realiza con el fin de utilizar el módulo Peltier para dar tratamiento a los pacientes con necesidades de rehabilitación corporal.

A diferencia del proyecto realizado por Alfredo Medina, el presentado en este documento como método de culminación de estudios a realizar, cuenta con un sistema que controlará el tiempo de operación de manera automática, lo que induce que frente a una falta de atención podría evitar un daño corporal al paciente.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### III. Justificación.

El prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por medio de fisioterapia, propuesto como método de culminación de estudios, además de integrar dos de los métodos de fisioterapia más utilizados, los cuales son la termoterapia superficial y la crioterapia, según datos del Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría, tendrá la capacidad de resolver los problemas que se presentan con los métodos utilizados en la mayoría de hospitales de Nicaragua, que son tiempos de espera largos y los diferentes riesgos que puede conllevar la mal aplicación del tratamiento, debido a rangos inadecuados de la temperatura.

Con el prototipo electrónico se podrán manejar con un mejor control las variables de tiempo y la temperatura. Siendo la temperatura la variable a la cual debemos prestar mayor atención, ya que un mal control de ella puede causar daños en la piel del paciente, esto se controlará con un sistema que permita mantener el rango del valor necesario para cada tratamiento. Por otro lado, diseñando el prototipo con un tiempo de sesión por defecto y siendo capaz también que el operador pueda reprogramarlo, se evitará hacer esperas innecesarias entre paciente y paciente, por lo que el centro de rehabilitación tendrá una mejor eficacia y eficiencia, respecto a pacientes atendidos por día y permitirá al usuario un mejor bienestar y confort de lo que se obtiene con los métodos tradicionales ocupados.

Conjuntamente, este proyecto puede servir como base para la implementación de mejoras en el dispositivo, para los estudiantes de la Universidad Nacional de Ingeniería, de la Facultad de Electrotecnia y Computación (FEC) o como manera de impulso para incursionar un tanto en la Electromedicina, como rama de la Ingeniería Electrónica.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### IV. Objetivos

#### Objetivo General.

- Construir prototipo de sistema de almohadilla eléctrica con celdas Peltier TEC1-12706 para termoterapia superficial y crioterapia de manera integrada para su uso en rehabilitación por fisioterapia.

#### Objetivos Específicos:

- Investigar acerca del número de pacientes y la zona corporal más frecuentada en los tratamientos mencionados en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría en el departamento de Managua.
- Crear un sistema con temperatura ajustable en cada uno de los métodos de fisioterapia mencionados utilizando control Encendido - Apagado.
- Integrar al sistema un modo de apagado automático ajustable al tiempo necesario por sesión y un botón de paro de sesión de rehabilitación.
- Desarrollar el sistema con buena estética y confort apto para ser usado en la zona corporal necesaria para el tratamiento al paciente.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### V. Marco Teórico.

El prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por termoterapia superficial y crioterapia, está conformado por dos subconjuntos que son el control de temperatura (para cada método de fisioterapia) y el control del tiempo de funcionamiento del sistema; subconjuntos que se explicaran las bases teóricas y tecnológicas por los que fueron tomados con importancia al momento de proponer el proyecto:

#### V.I. Termoterapia

Se entiende por termoterapia, a la aplicación según el caso de calor o frío, con el objetivo de brindar una mejora a la salud. Para especificar cuando se habla de calor o frío “se parte del hecho de que el organismo humano presenta siempre una temperatura normal entre 36 y 37 °C” (Cordero, 2008), entonces cualquier rango por encima o por debajo de esa temperatura se consideran calor o frío respectivamente.

##### *V.I.I. Mecanismos de transferencia de calor.*

Los tratamientos termoterapéuticos más usados se fundamentan en tres tipos de transferencia de calor que son; la irradiación, basada en la transferencia de calor en forma de ondas por medio del aire, la convección, que consiste en la transferencia de calor a través de un líquido (en este caso la sangre) y por último la conducción, método que pretende usarse en este proyecto y que es debido al roce de dos cuerpos a diferentes temperaturas cuando están en contacto por un determinado tiempo; sin embargo hay muchos factores a los cuales está sometida la eficiencia de este tipo de transferencia, por ejemplo, personas con tejidos con cantidades considerables de agua en los músculos y sangre, logran una mejor transferencia de calor y por tanto una mejor asimilación del tratamiento.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### *V.I.II. Respuesta fisiológica por aplicación del calor*

El cuerpo humano muestra una respuesta fisiológica por la aplicación del calor como un mecanismo reflejo y no por un calentamiento directo de la zona. Es por eso que con el tratamiento se aportan beneficios a diferentes niveles de nuestro cuerpo, por ejemplo según afirma Cordero (2008); a nivel celular el metabolismo hístico aumentará o disminuirá según sea la temperatura que se esté aplicando, a nivel cardiovascular ayuda a la circulación y a que disminuya la coagulación de la sangre, además obtenemos efectos neuromusculares como relajación muscular, disminuye la fatiga y produce un efecto analgésico y por ultimo nuestro cuerpo experimenta una modificación en las propiedades viscoelasticas de los tejidos, esto quiere decir que el calor ayuda a combatir la rigidez y las alteraciones articulares.

### *V.I.III. Precauciones y contraindicaciones en la aplicación de calor.*

Sin embargo, a pesar de todos los beneficios que nos proporciona el calor, existen contraindicaciones y precauciones que debemos tomar en consideración, siendo las más importantes:

- Vigilar el surgimiento de dolor en la zona donde se aplica.
- No usar cuando se tiende al sangramiento.
- Donde hay procesos malignos estos se pueden difundir.
- No aplicar en zona de crecimiento óseo en niños.
- No usar en zonas corporales con presencia de metal.





## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### V.II. Termoterapia superficial.

Se entiende por termoterapia superficial, a la termoterapia con calor producida por medio de conducción como mecanismo de transferencia de calor (Cordero, 2008). Existen varios métodos para la realización de este tipo de termoterapia entre los cuales podemos mencionar las compresas químicas, almohadillas eléctricas, bolsa de agua caliente y las compresas calientes (ver Figura 1.1).

Según Cordero (2008), las principales indicaciones para estos métodos de termoterapia son:

- Reducción del espasmo muscular,
- Relajación muscular,
- Disminuye la resistencia al estiramiento de los tejidos y
- Efecto analgésico.



*Figura 2-1. Sist. Termoterapia superficial (Compresa caliente) en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría.*



### V.III. Crioterapia.

En múltiples ocasiones se tiende a confundir la crioterapia dermatológica, con la crioterapia como fisioterapia para la rehabilitación. En este caso, hablaremos acerca de la crioterapia fisioterapéutica, la cual consiste en la aplicación de frío en el área afectada del paciente, con el fin de reducir la temperatura y crear una serie de efectos biológicos en nuestro cuerpo.

A principios se solía utilizar agua helada, nieve o hielo, pero con el avance del tiempo los métodos han cambiado un poco.

#### *V.III.I Efectos biológicos.*

Al igual que al calor, el cuerpo humano también presenta reacciones a la aplicación de frío. Según Cordero (2008), al aplicar frío sobre el paciente se pueden obtener diferentes efectos biológicos, a nivel fisioterapéutico los efectos más importantes son; disminución del metabolismo hístico; esto significa que disminuye lesiones en los tejidos, disminución del flujo sanguíneo; por producirse una inflamación de los vasos sanguíneos en arterias y venas en la zona tratada, disminución del dolor; esto se debe a la acción directa en las fibras y receptores de dolor, y por ultimo pero no menos importante la relajación muscular; esto a causa de su acción sobre el proceso de contracción.

#### *V.III.II Indicaciones y contraindicaciones.*

Basado en (Cordero, 2008) se procederá a mencionar las indicaciones más importantes y comunes acerca de la crioterapia como fisioterapia para rehabilitación:

- Traumatismo mecánico (Con piel intacta),



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

- Espasmo muscular,
- Artritis aguda y subaguda, y
- Alivio del dolor

Como se mencionó en el apartado de la termoterapia, en esta rama también podemos encontrar contraindicaciones, tales como:

- Disminución de circulación de sangre,
- Disminución de la sensibilidad cutánea,
- Alergia al frío,
- Lesiones de la piel, y
- Respuestas tensionales.

### *V.III.III. Tipos.*

De acuerdo a Cordero (2008), existen diferentes métodos usados cuando de crioterapia terapéutica se trata, por ejemplo, unos de los más importantes serán citados a continuación:

- Compresas comerciales y reutilizables (Ver Figura 1.2),
- Compresas de hielo pulverizado,
- Bolsas de agua fría,
- Inmersión en agua fría,
- Aerosol de frío, y
- Masaje con hielo.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”



*Figura 2-2. Sist. Crioterapia utilizado en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría.*

### V.IV. Dispositivos termoeléctricos – Celda Peltier.

Un dispositivo termoeléctrico es aquel cuyo objetivo es crear una corriente eléctrica por medio de la unión de dos conductores o semiconductores diferentes, “donde los portadores de carga de cada uno de estos materiales son de distinta naturaleza (electrones o huecos)” (García-Serrano, 2016). De tal modo que, al aplicar una temperatura en los extremos de la junta de los materiales, se obtendrá una reubicación de los portadores de carga del material del extremo a mayor temperatura hacia el de menor.

Al aplicarse una corriente a este tipo de dispositivos se logra obtener una variación de temperatura. Dependiendo del sentido en que se le proporcione la corriente se obtendrá, una cara que liberará calor y una cara que liberará frío (Ver Figura 1.3). A esto antes mencionado se lo conoce como “Efecto Peltier” y puede ser conseguido por medio de una “Celda Peltier TEC1-12706”, la que nos brinda un rango de temperatura suficiente para cumplir con los métodos de termoterapia a



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

realizarse en este proyecto.

Cabe mencionar que las celdas Peltier son usadas en diferentes ramas de la tecnología, por ejemplo, en la medicina, refrigeradoras portátiles, cargadores móviles para celulares, etcétera.

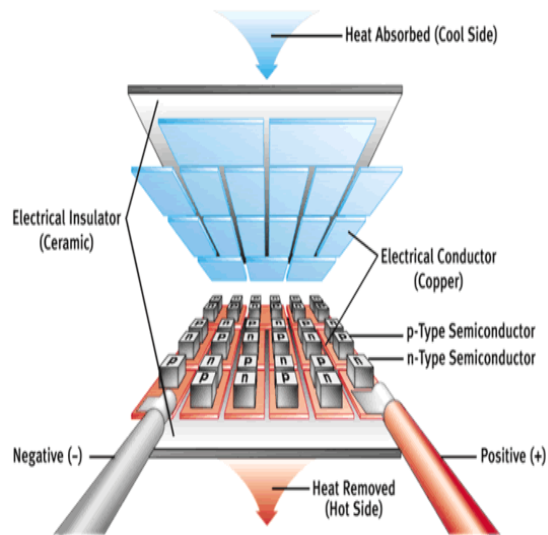


Figura 2-3. Explicación gráfica del Efecto Peltier en una celda.

### V.V. Control para la temperatura (Encendido/apagado).

Diferentes tipos de sistemas de control son utilizados hoy en día, uno de los más comunes es el llamado Encendido/Apagado, que consiste en un bucle basado en la medición de una variable a tratar (Temperatura), para luego por medio del controlador, el cual procesa la señal y teniendo un valor establecido por el operador, se procederá a la activación o desactivación del actuador (Celda Peltier) dependiendo del valor adquirido por el sensor (Stromquist, 2015).

Basados en las especificaciones investigadas para la realización de termoterapia



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

superficial y crioterapia, se llega a la conclusión que para este proyecto debe de ser necesario utilizarse un sistema de lazo cerrado o bucle el que consista en:

- Un sensor de temperatura que cubre el rango necesario para la utilidad de este proyecto,
- Un controlador, el microcontrolador Arduino, es un circuito integrado programable capaz de ejecutar acciones almacenadas en su memoria y que debido a sus características cumple con los parámetros necesarios para la realización de este proyecto. Para la programación de este controlador, es suficiente con descargar el software libre de Arduino el cual se basa en el lenguaje de programación C. (Arduino, s.f.).
- Como actuador se utilizará la Celda Peltier.
- Una etapa de monitoreo, que mostrara en una pantalla los resultados de las operaciones realizados en el dispositivo. En el proyecto realizado en la pantalla se podrá ver la digitación de los parámetros de cada uno de los métodos de termoterapia y al ser estos puestos en marcha, se mostrará permanentemente el tipo de tratamiento que se le está proporcionando al paciente y la temperatura con la cual se está trabajando hasta finalizar la sesión.

Todo este sistema es comandado por un contador, capaz de ser programado, el cual permite llevar la cuenta del tiempo de la sesión, con el fin de poder automatizar la finalización de la sesión que se realizará al paciente.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### V.VI. Variables.

Fundamentado en los parámetros requeridos para la termoterapia superficial y crioterapia como método de rehabilitación por fisioterapia, se ha encontrado que las variables tiempo, temperatura y zonas afectadas son las que se deben de tomar en cuenta al momento de realizar este proyecto:

#### **Tiempo:**

El tiempo estipulado, según los doctores especialistas en esta materia es de 15 minutos por sesión, independientemente del tipo de tratamiento que se esté aplicando al paciente. Por eso para dar control a esta variable se programará un contador, el cual proporcionará un tiempo específico de 15 minutos de funcionamiento al sistema y que también podrá ser cambiado por el operador antes de empezar la sesión.

#### **Temperatura:**

Para cada una de las formas de fisioterapia antes mencionadas, existe un rango de temperatura el cual se debe de respetar, que son para Termoterapia superficial entre 45 y 48°C, y para Crioterapia entre 10 y 12°C (Cordero, 2008). Al exceder estos valores existen altas posibilidades de que ocurran efectos adversos tales como quemaduras, manchas en la piel y dolor, por tales motivos tiene que integrarse un sistema de control (encendido–apagado) que permita mantener los rangos establecidos.

#### **Zonas afectadas:**

Con la investigación realizada en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría en el departamento de Managua, se encontró que las zonas corporales más



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

frecuentadas para este tipo de rehabilitación son; la zona Lumbar y los Hombros. Es por el anterior motivo que el prototipo de sistema de rehabilitación realizado fue desarrollado para estas dos partes mayormente, pero siendo capaz también de poder ser utilizado en zonas menos frecuentadas como las zonas Dorsal y Cervical.





## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Capítulo 2 Diseño del Prototipo.

De acuerdo a los requerimientos necesarios que fueron determinados al analizar los datos obtenidos en la visita al Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría, el prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por termoterapia superficial y crioterapia debe estar estructurado de la siguiente manera:

#### I. Diagrama de bloque.

El diagrama de bloque (Ver Figura 2.1) cuenta con seis etapas; las cuales se explicarán a continuación:

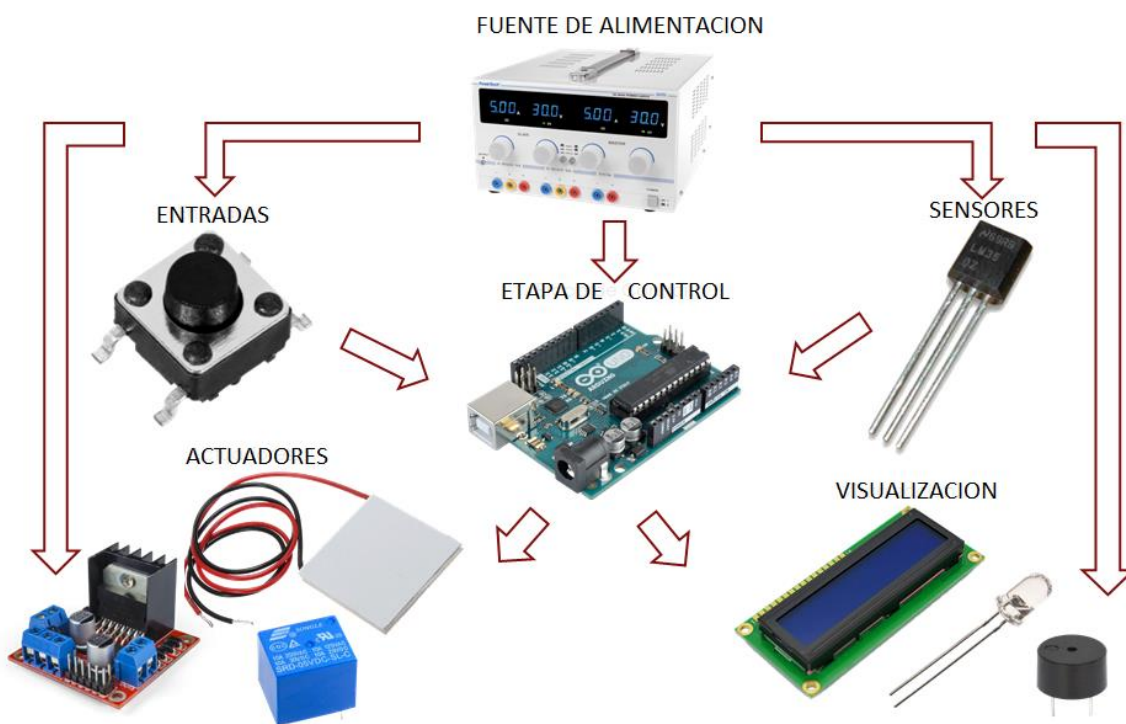


Figura 2-1. Diagrama de bloque Prototipo de Sistema de rehabilitación.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### I.I. Entradas.

En esta etapa se determinó que, para la realización de todas las funciones necesarias para el ajuste de cada uno de los métodos de tratamiento, se necesitan usar pulsadores (Ver Figura 2.2), los cuales son dispositivos que permiten el paso de la corriente al momento de ser pulsados (Normalmente abiertos), con el objetivo de captar un cambio al ser presionados y realizar así determinada función.



Figura 2-2. Ejemplo de pulsador.

Los pulsadores usados en este proyecto son nueve, a continuación, se detallarán en la tabla 2.1:

Nombre del Pulsador	Objetivo del Pulsador
Menú (M)	Ingresar al menú del tratamiento
Tiempo (T)	Elegir la variable tiempo para ajustarla
Temperatura (T°)	Elegir la variable temperatura para ajustarla
Incremento de tiempo (T±)	Incrementar el valor del tiempo del tratamiento



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Incremento de temperatura ( $T^{\circ\pm}$ )	Incrementar el valor de la temperatura del tratamiento
Crioterapia (Crio)	Seleccionar el modo de Crioterapia
Termoterapia (Ter)	Seleccionar el modo de Termoterapia Superficial
Enter (E)	Introducir valores de T y $T^{\circ}$
Stop (S)	Suspender el tratamiento

Tabla 2.1. Leyenda de Pulsadores.

### I.II. Visualización.

Este bloque del prototipo nos permite tener un mejor control de los datos que le hemos suministrado al sistema por medio de la etapa de entradas y una mejor visualización del proceso del tratamiento que se está realizando.

Contando con una pantalla LCD 16X2 (Ver Figura 2.3), que a pesar de su tamaño, cumple con las necesidades del proyecto y que conectada con un módulo de datos de Circuito Inter-Integrado (I2C por sus siglas en ingles) para la disminución del uso de pines (Ver Tabla 2.2), podemos observar los valores para el ajuste de cada método de tratamiento, y además ver el conteo progresivo del tiempo ajustado para la sesión de tratamiento y cuando este proceso antes mencionado finaliza.

Modulo I2C	Pines Arduino
Ground (GND)	GND
Power Supply voltage (VCC)	5V
Serial Data Line (SDL)	A4
Serial Clock Line (SCL)	A5

Tabla 2.2. Conexión Modulo I2C



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”



Figura 2-3. Ejemplo de Pantalla 16X2 y Modulo I2C.

Además de la pantalla LCD 16X2, la etapa de visualización cuenta con dos Diodos LEDs (Ver Figura 2.4), uno color Rojo y otro color Azul, indicando este primero cuando se encuentre encendido que el método de Termoterapia superficial está en funcionamiento y cuando el Azul este encendido nos indica que el método realizándose es de Crioterapia.

También cuenta con un Zumbador MB12A05 (Ver Figura 2.5), el cual es un transductor electroacústico que nos notificará cuando el proceso ha finalizado, ya sea porque el tiempo ajustado llego a su límite o porque se pulso el botón de paro de sesión.

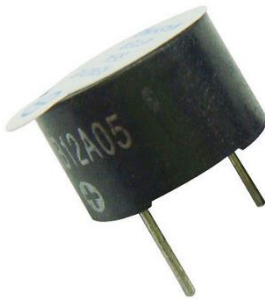


Figura 2-5. Zumbador MB12A05.



Figura 2-4. Ejemplo diodo LED.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### I.III. Actuadores.

En este apartado encontramos a los actuadores, que como antes mencionamos, son los dispositivos capaces de cambiar las variables que se están controlando, subconjunto en el que hallamos los dispositivos que relacionados unos con otros logran poner en marcha el sistema.

El dispositivo que nos brinda la temperatura necesaria para cada uno de los métodos de fisioterapia es la Celda Peltier TEC1-12706 (Ver Figura 2.6), dispositivo que al aplicarle una corriente podemos obtener una variación de temperatura (Ver Capítulo 1, V.IV. Dispositivos termoeléctricos – Celda Peltier), en este caso se le aplica una tensión de 12 Voltios y hasta 1.5 Amperios para poder obtener la temperatura necesaria para la Crioterapia, además encontramos que cada celda está acompañada por un abanico, conectado por medio de un módulo relé SDR-05VDC-SL-C (Ver Figura 2.7), el cual aísla y controla el encendido y apagado funcionando como un interruptor, con el objetivo de enfriar una de sus caras, ya que de lo contrario a pesar de suministrarle ese valor de corriente y voltaje no podríamos alcanzar la temperatura deseada por que debe existir entre las dos caras de esta celda una variación de temperatura baja para evitar recalentamiento y una muy posible quemadura de la celda antes indicada.



Figura 2-7. Módulo Relé SDR-05VDC-SL-C.



Figura 2-6. Celda TEC1-12706.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Debido a que el prototipo creado se basa en la construcción de un sistema que nos pueda brindar los dos tipos de fisioterapias en un solo dispositivo, debemos usar un “Driver” o controlador para poder cambiar la polaridad con la que se alimentan las celdas TEC1-12706.

Para lograr un mejor manejo por parte del operador, con el driver L289 (Ver Figura 2.8), el cual satisface los requerimientos para la alimentación de las Celdas Peltier (Ver Tabla 2.3), evitaremos que el operador manipule conexiones y disponga nada más su esfuerzo a la atención del paciente y además con el módulo separaremos la parte de potencia de la parte de control digital y nos brindara la corriente necesaria para el funcionamiento de las celdas

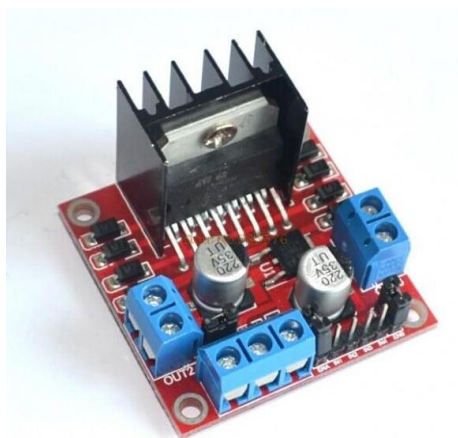


Figura 2-8. Driver L289.

Símbolo	Parámetro	Valor	Unidad
Vs	Voltaje de alimentación	Hasta 46	V
Io	Corriente de salida	2 (cada canal)	A
Vss	Suministros de voltaje lógico	5	V

Tabla 2.3. Parámetros Driver L289 según Hoja de datos.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### I.IV. Sensores.

Para poder realizar un control de las variables se necesita una etapa de censado, en este caso, necesitamos mantener una medición constante de la variable temperatura debido a que el método de tratamiento, ya sea termoterapia superficial o crioterapia, deben mantenerse en un valor constante ajustado con anterioridad y en caso de que exista variación, por medio de la etapa de control, la cual se explicara en el siguiente apartado, poder ajustar de nuevo a los valores predefinidos por el operador.

En este proyecto, dado los requerimientos de cada uno de los tratamientos fisioterapéuticos (Ver Capítulo 1, V.VI. Variables), se optó por usar el sensor de temperatura LM35 (Ver Figura 2.9), dispositivo que cubre las necesidades del sistema debido a sus características de trabajo (Ver Tabla 2.4), además siendo este de un tamaño bastante pequeño ayudando al confort del paciente que es uno de los objetivos de este proyecto.

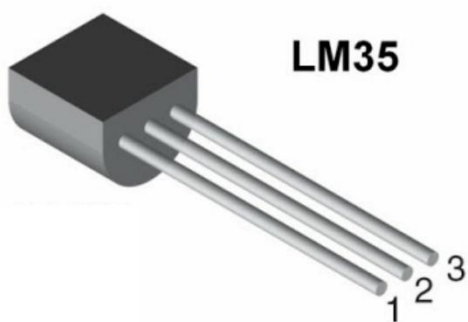


Figura 2-9. Ejemplo Sensor LM35.

Parámetro	Valor	Unidad
Voltaje de entrada	4 a 30	V
Corriente	60	$\mu$ A
Rango	-55 a +150	°C



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Exactitud	$\pm 0.5$	$^{\circ}\text{C}$
Factor de escala	+10	$\text{V}/^{\circ}\text{C}$

Tabla 2.4. Parámetros Sensor LM35 según Hoja de datos.

### I.V. Etapa de control.

La etapa de control, es la parte más importante del proyecto, es la encargada de procesar todos los datos que le son suministrados por medio de la etapa de entrada, dar lectura a las muestras medidas en la etapa de sensores, activar la etapa de visualización y realizar los ajustes pertinentes para mantener lo más cercano posible el valor de temperatura con el que se está realizando el tratamiento y que fue proporcionado por el operador.

Para obtener una mejor funcionalidad, al realizarse los estudios necesarios para cumplir con los parámetros requeridos por este prototipo, se llegó a la conclusión de implementar un sistema de control de lazo cerrado, que es un sistema en el que la salida obtenida modifica directamente la etapa de control, que aplicado en este proyecto significa que, de acuerdo al valor de temperatura producido por la Celda Peltier TEC1-12706 y censado por el integrado LM35, se modificará el valor de corriente con el cual será alimentada la celda antes mencionada con el fin de acercarse lo máximo posible al valor antes ajustado por el operador por medio de los pulsadores.

Teniendo en cuenta lo antes mencionado, se procedió a realizar una tabla, mostrada a continuación (Ver Tabla 2.5), con el fin de elegir un microcontrolador de acuerdo al número de pines (entradas y salidas) necesarios para cumplir con todos los requerimientos del proyecto.





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Componente	Cantidad	Entradas	Salidas
Pulsadores	9	9	-
Diodo LED	2	-	2
LCD 16X2 (I2C)	1	-	2
Buzzer MB12A05	1	-	1
LM35	1	1	-
LM298	1	-	2
SRD-05VDC_SL-C	1	-	1
<b>Total</b>	<b>-</b>	<b>Total = 10</b>	<b>Total = 8</b>

Tabla 2.5. Parámetros para elección de controlador.

Dada la cantidad de pines de entradas y salidas requeridos para este proyecto, se tomó la decisión de utilizar un microcontrolador Arduino UNO (Ver Figura 2.10 y Tabla 2.6), ya que este cuenta con 20 pines de entradas y salidas, basados en la tabla anterior, con este dispositivo se puede alcanzar a cubrir los 18 pines de entradas y salidas para el funcionamiento de este prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal.

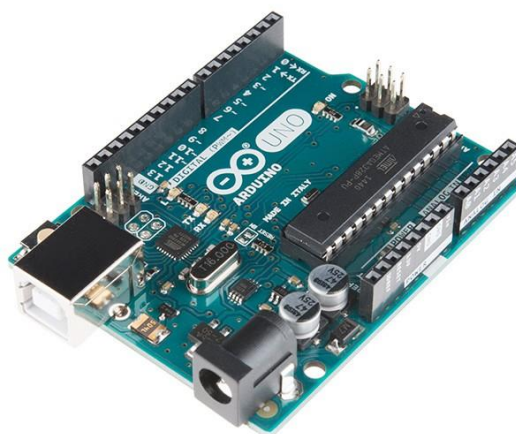


Figura 2-10. Arduino UNO.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Parámetro	Valor
Microcontrolador	ATMega 328P
Voltaje de entrada	7 – 12 V
Entradas y Salidas Digitales	14
Entradas y Salidas con Modulación por Ancho de Pulso	6
Entradas y Salidas Analógicas	6
Memoria Flash	32KB
SRAM	2KB
Clock Speed	16MHz

Tabla 2.6. Parámetros Arduino UNO según sitio Web de Arduino.

Además, se usó el software libre “Entorno de Desarrollo Integrado de Arduino” (Arduino IDE, por sus siglas en ingles), el cual se basa en lenguaje de programación “C” (Ver Figura 2.11).

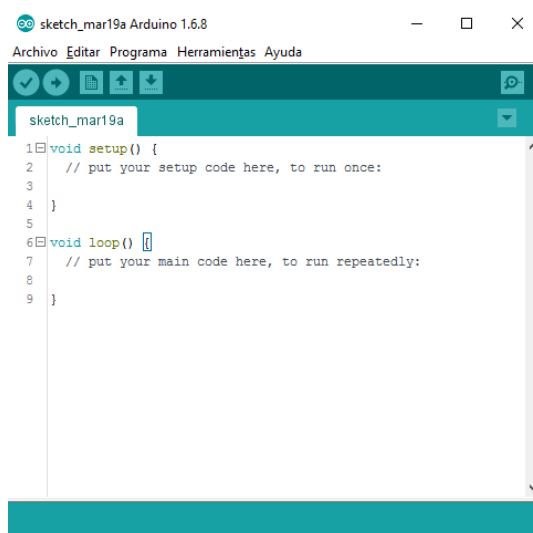
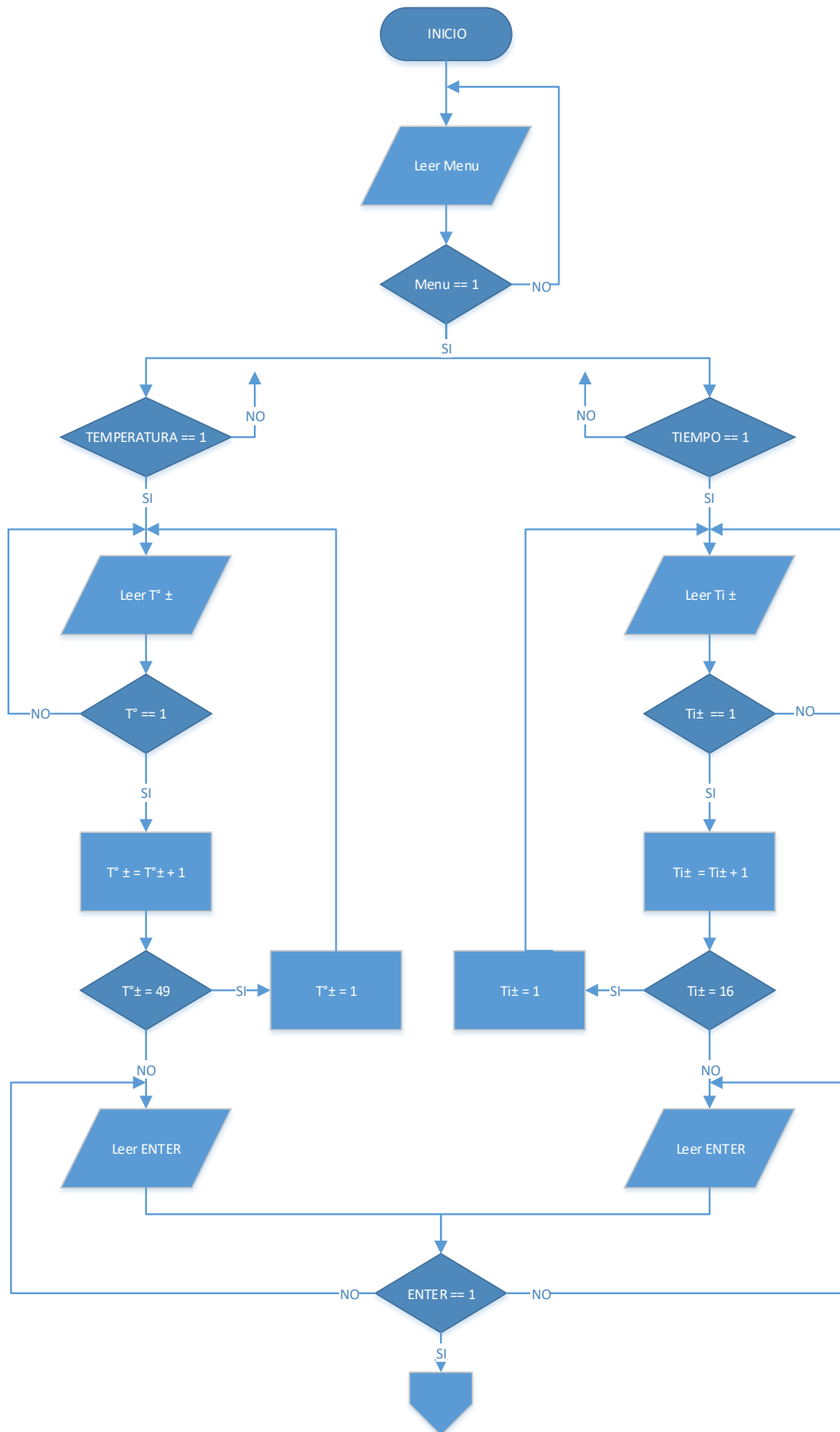


Figura 2-11. Arduino IDE.

En este apartado, también se realizó un diagrama de flujo (Ver Figura 2.12) en el que se basó la elaboración del código de este proyecto para cumplir con los objetivos planteados, siendo este adjuntado en Anexos y que en su totalidad esta comentado por etapas para un más fácil entendimiento.



# “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

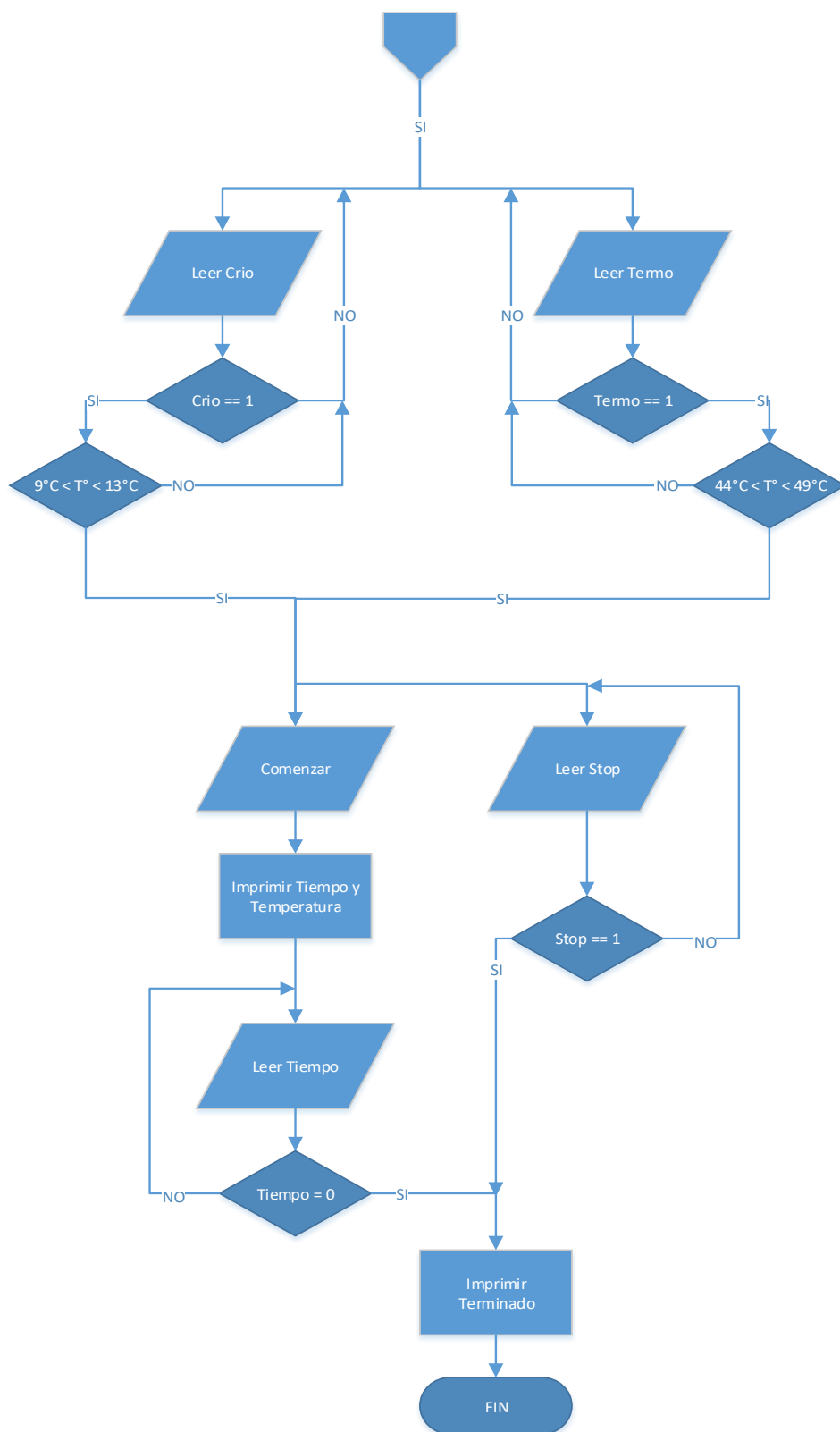


Figura 2-12. Diagrama de Flujo.



#### I.VI. Fuente de alimentación.

Tomando en cuenta todos los componentes electrónicos de los que se conforma este proyecto, se realizó la siguiente tabla (Ver Tabla 2.7), con el objetivo de diseñar una fuente de alimentación, la cual nos pueda suministrar la cantidad necesaria de corriente y el número de salidas necesarias con diferentes valores para alimentar eléctricamente el proyecto.

Componentes	Corriente	Voltaje
Arduino	-	8V
Fan (x2)	500mA	8V
Diodo LED (x2)	20mA	Suministrado por Arduino
Buzzer MB12A05	30mA	Suministrado por Arduino
L298	2A	12V
LCD 16X2 (I2C)	100mA	5V
LM 35	60μA	5V
SDR-05VDC-SL-C	70mA	5V
Pulsadores (x9)	45mA	5V
	<b>Total ≈ 3A</b>	

Tabla 2.7. Parámetros para el diseño de la Fuente de Alimentación.

Teniendo la cantidad de corriente a utilizar, se procedió a diseñar la fuente de alimentación, basado en los siguientes cálculos:

Contando con un transformador eléctrico con una entrada de 120V y una salida de 24V con derivación central y 4 A, siendo este el Voltaje eficaz;

$$V_{ef} = 12V$$

Se procede a calcular el Voltaje pico;



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

$$V_p = V_{ef} \times \sqrt{2}$$

(Fórmula 1)

$$V_p = 12V \times \sqrt{2}$$

$$V_p = 16.97V$$

Al obtener el Voltaje pico, podemos calcular el Voltaje máximo o voltaje rectificado, que es;

$$V_{max} = V_p - 1.4V$$

(Fórmula 2)

$$V_{max} = 16.97V - 1.4V$$

$$V_{max} = 15.57V$$

Con el Voltaje máximo obtenemos el Voltaje de rizado pico a pico con la siguiente fórmula;

$$V_{ppr} = 10\% \times V_{max}$$

(Fórmula 3)

$$V_{ppr} = 10\% \times 15.57V$$

$$V_{ppr} = 1.5V$$

Finalmente, con los datos obtenidos anteriormente, se procede a calcular el valor del Capacitor ubicado a la salida del puente de diodos de la fuente, que sirve como filtro, mediante la siguiente fórmula (Ver Fórmula 4);

$$C = \frac{10 \times I}{2f(V_p - 1.4V)}$$

(Fórmula 4)



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Donde:

$I$  es la corriente para la cual está siendo diseñada la fuente,

$f$  la frecuencia de la red, y

$V_p$  es el voltaje pico, calculado anteriormente.

Entonces utilizando Fórmula 4,

$$C = \frac{10 \times 3A}{2(60)(16.97 - 1.4V)}$$
$$C = 16,056 \mu F$$

Siendo el valor comercial más cercano encontrado de 15,000 $\mu$ F.

A continuación, se muestra el diseño total de la fuente y los componentes utilizados (Ver Tabla 2.8 y Figura 2.13).

Los demás valores usados para ajustar las salidas por medio de los reguladores de voltaje, son valores predeterminados por los fabricantes de dichos componentes y que los podemos encontrar en la hoja de datos de cada uno de ellos.

Componente	Valor
Puente de Diodos	GBU6A
Capacitor Electrolítico	1,500 $\mu$ F
Resistencia	120 $\Omega$
Potenciómetro (x2)	2k $\Omega$
Diodo (x3)	1N4007
Regulador	LM338k
Capacitor Cerámico (x2)	0.1 $\mu$ F



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Capacitor Electrolítico (x2)	1 $\mu$ F
Regulador	LM317
Resistencia	220 $\Omega$
Regulador	LM 7805
Capacitor Cerámico	100nF
Capacitor Cerámico	330nF

Tabla 2.8. Componentes Fuente de Alimentación.

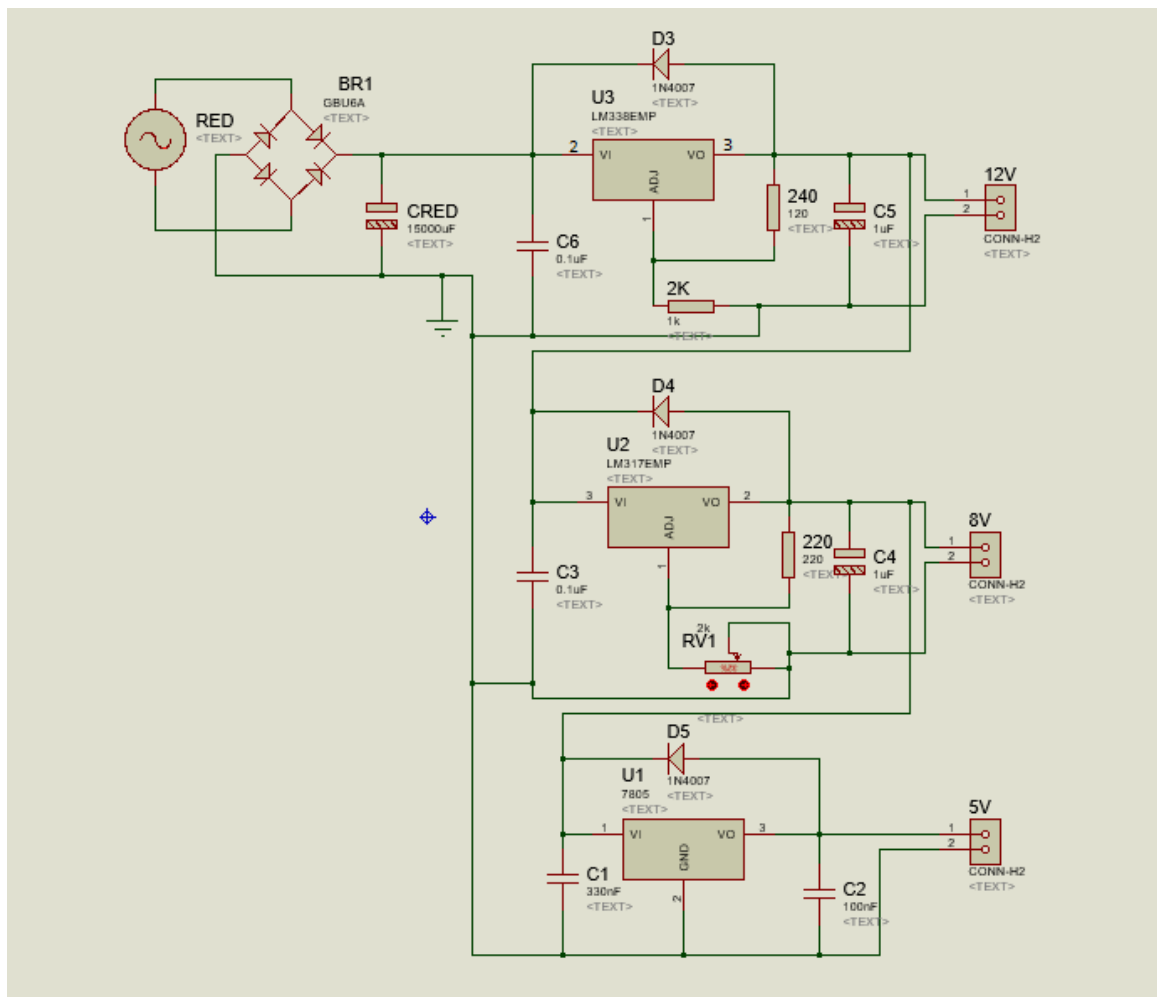


Figura 2-13. Fuente de Alimentación.





## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Capítulo 3 Construcción y resultados del prototipo.

Como resultado de la elaboración de este proyecto, se logró el diseño y la elaboración de un prototipo de Sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por Termoterapia superficial y Crioterapia, que cumple con todos los requerimientos necesarios para realizar el proceso del tratamiento de una manera automática y con una mejor eficiencia que el método utilizado en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría de Managua y en la mayoría de los hospitales de Nicaragua.

#### I. Construcción.

Este proyecto se construyó por etapas, las cuales son;

**Uso y control de las celdas Peltier TEC1-12706;** esta etapa se basó en la activación, por medio de un pulsador, de las celdas antes mencionadas primeramente sin disipador y con sensores de temperatura los cuales limitaban el aumento de temperatura de la celda (Ver Figura 3.1), más adelante, se procedió a controlar el encendido de la celda al accionar un pulsador y el apagado por medio de un conteo regresivo, y usando siempre los sensores para limitar la temperatura y además se le anexo un abanico con disipador para lograr un más rápido enfriamiento de la celda (Ver Figura 3.2).



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

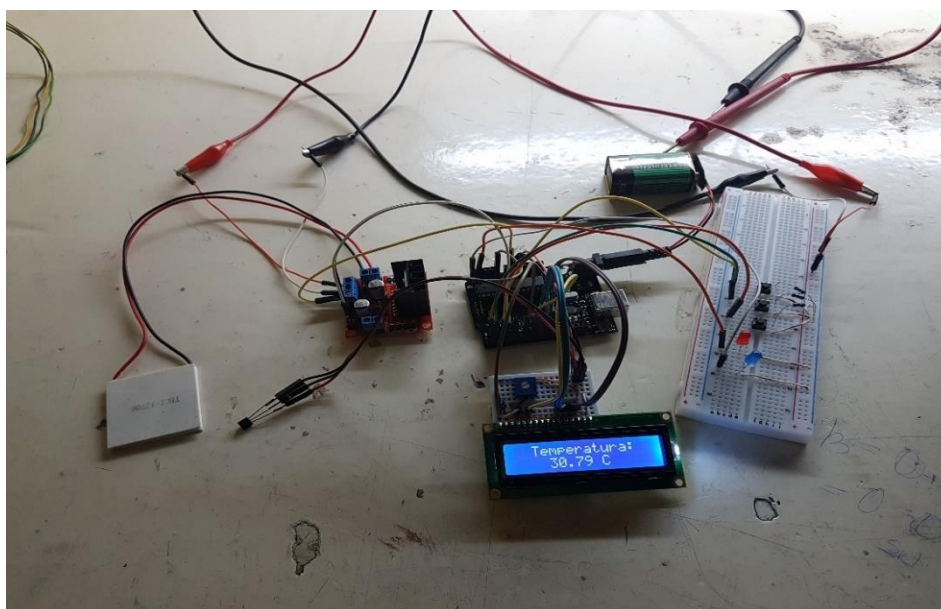


Figura 3-1. Celda Peltier sin disipador.

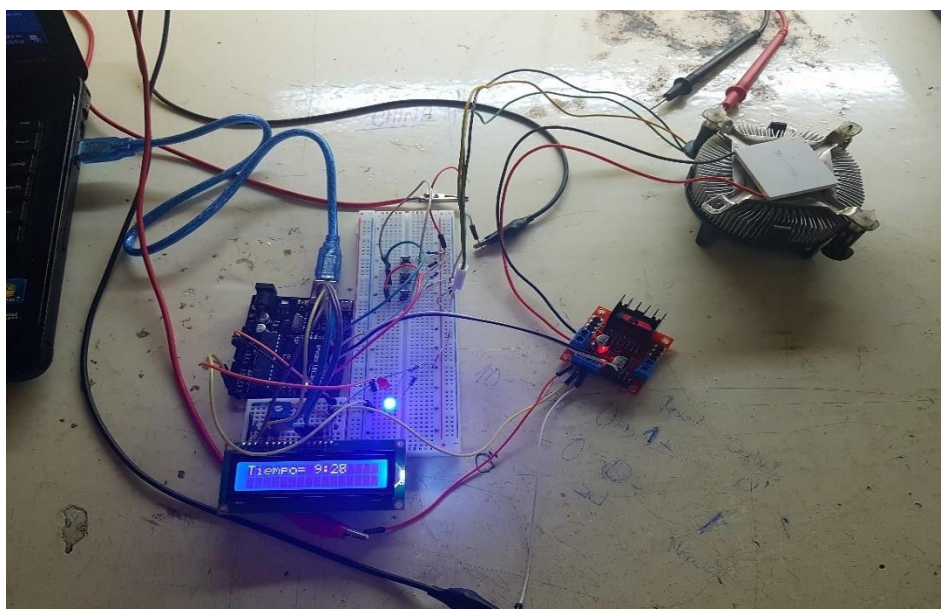


Figura 3-2. Celda Peltier con disipador.

**Diseño de menú del prototipo;** en este punto, de acuerdo a las necesidades a cubrir con el prototipo, se diseñó un menú (Ver Figura 3.3) basado en el diagrama de flujo (Ver Capítulo 2, I.V Etapa de Control, Figura 2.12), con el que el operador fuera capaz de programar cada sesión de una manera fácil.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

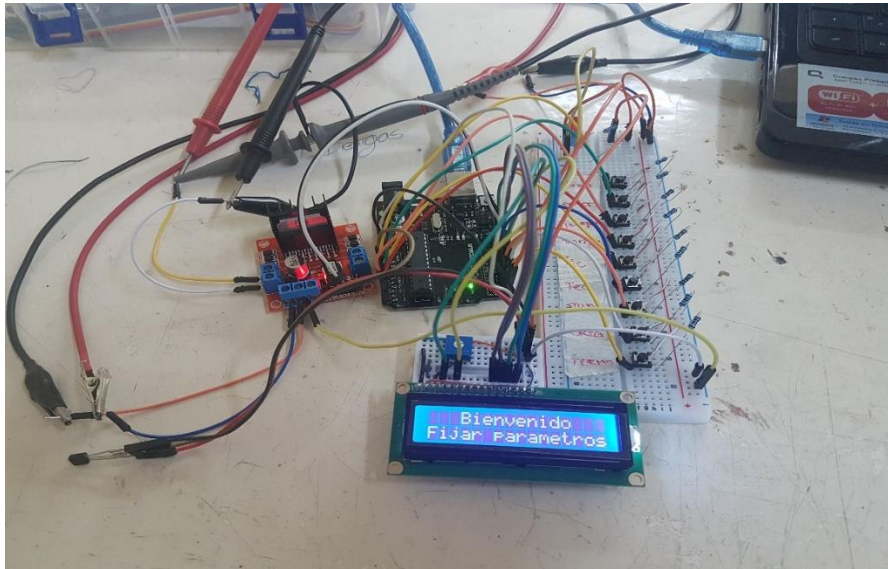


Figura 3-3. Menú del Programa.

**Elaboración de código completo;** en este apartado, como el nombre lo menciona, se elaboró el código completo para el funcionamiento del prototipo (Ver Figura 3.4), se puso a prueba cada una de las funciones del sistema, se corrigieron errores y ajustaron valores, de los actuadores solo se usaron los LEDs y el Zumbador MB12A05.

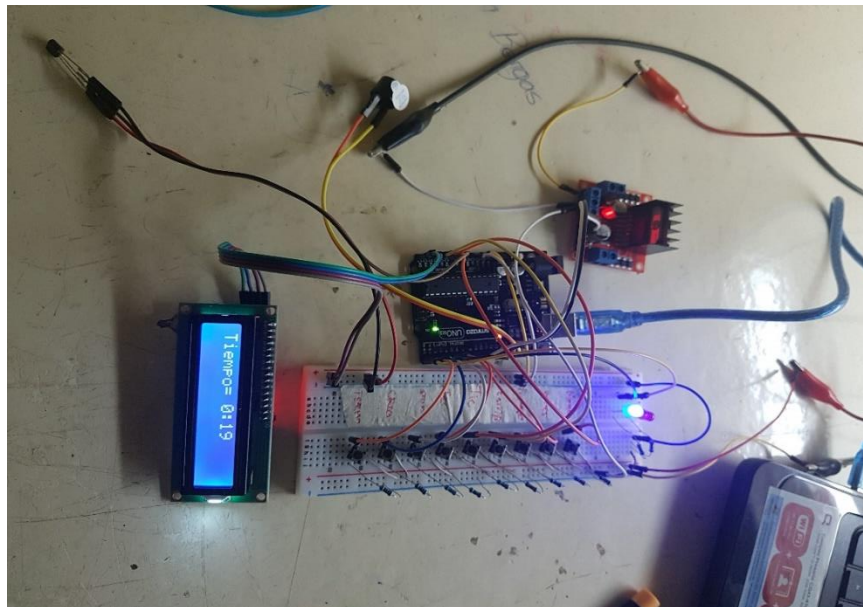
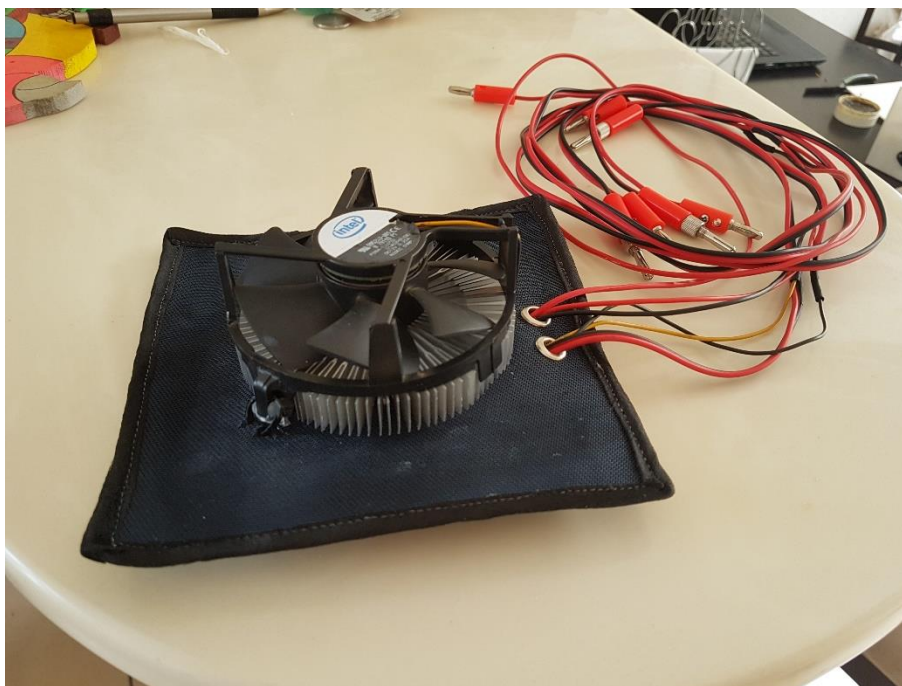


Figura 3-4. Prueba de código completo.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

**Diseño de almohadilla;** en esta fase se diseñó la almohadilla (Ver Figura 3.5), la cual se basa en una lámina de aluminio delgada que permite una mejor transferencia del calor o frío, dependiendo del tipo de tratamiento a realizarse, producido por la Celda Peltier y que esta forrada con una capa de tela en ambas caras de la lámina para que el paciente no reciba directamente el calor o frío producto del tratamiento.



*Figura 3-5. Almohadilla eléctrica.*

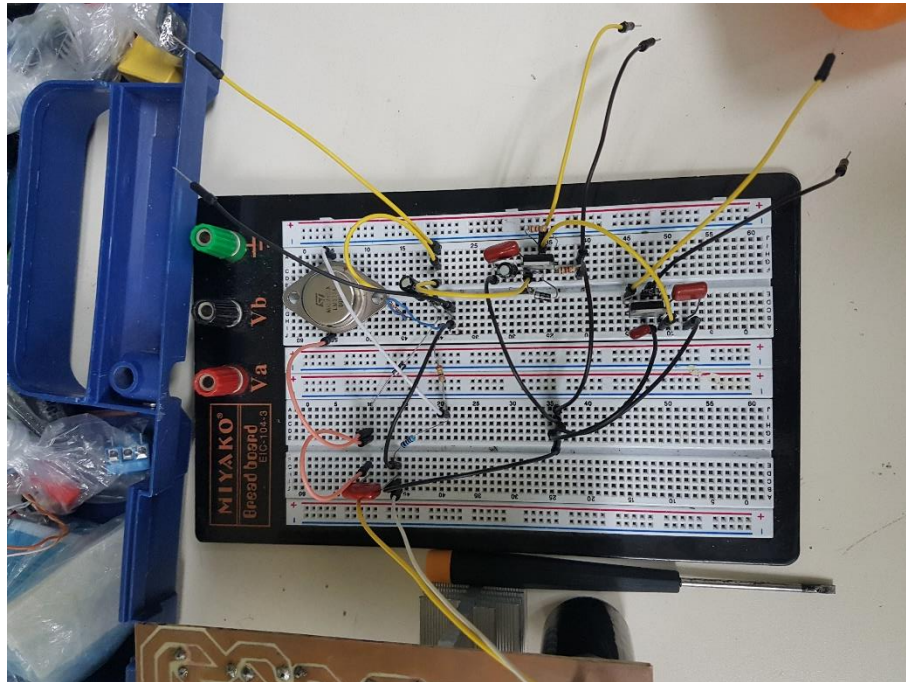
Además, se le agrego al dispositivo el módulo Relé SDR-05VDC-SL-C (Ver Capítulo 2, Figura 2.7) y un disipador con un abanico para lograr el enfriamiento adecuado de una de las caras de la Celda Peltier con el objetivo de alcanzar la temperatura necesaria para el tratamiento por medio de Crioterapia.





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

**Elaboración de fuente de alimentación;** en este apartado, basado en los requerimientos antes mencionados y en los valores calculados (Ver Capítulo 2, I.VI Fuente de alimentación), se procedió a diseñar, armar y probar en tabla de nodos la fuente de alimentación (Ver Figura 3.6).



*Figura 3-6. Fuente de alimentación en tabla de nodos.*

Una vez suministrados por la fuente de alimentación los valores requeridos para energizar el sistema correctamente, se puso a prueba la fuente de alimentación alimentando el sistema completo y por último se elaboró la fuente de alimentación en una tarjeta de cobre (Ver Figuras 3.7 y 3.8)

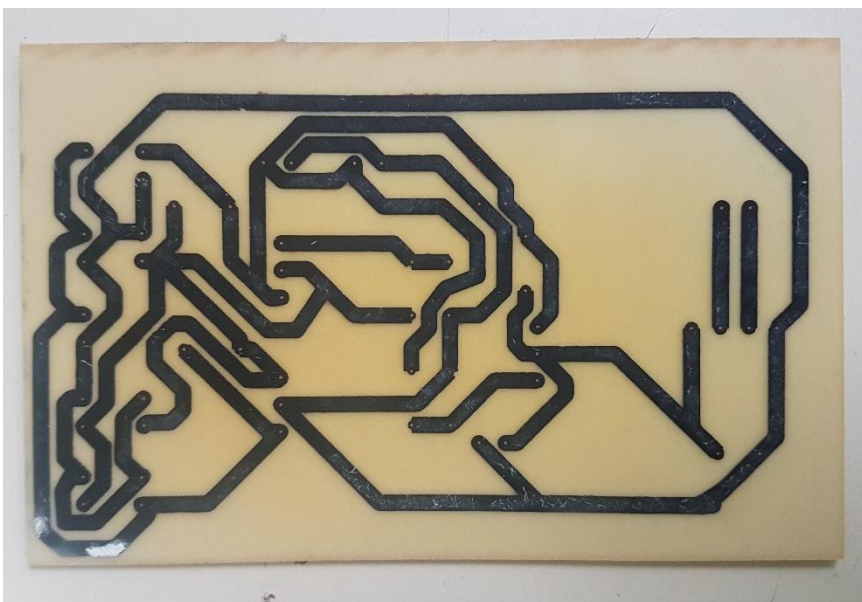
Ya soldados cada uno de los componentes de la fuente de alimentación en la tarjeta de cobre, se procedió a la prueba en su conjunto de todo el dispositivo armado en la caja o “case” (Ver Figura 3.9 y 3.10).



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”



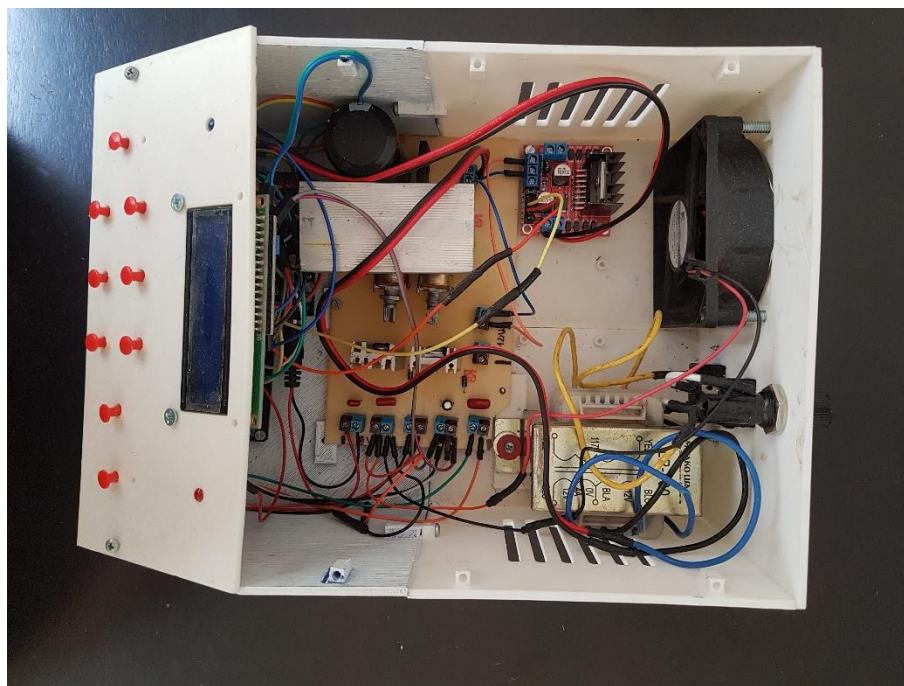
*Figura 3-7 Método de planchado. Tarjeta de fuente de alimentación.*



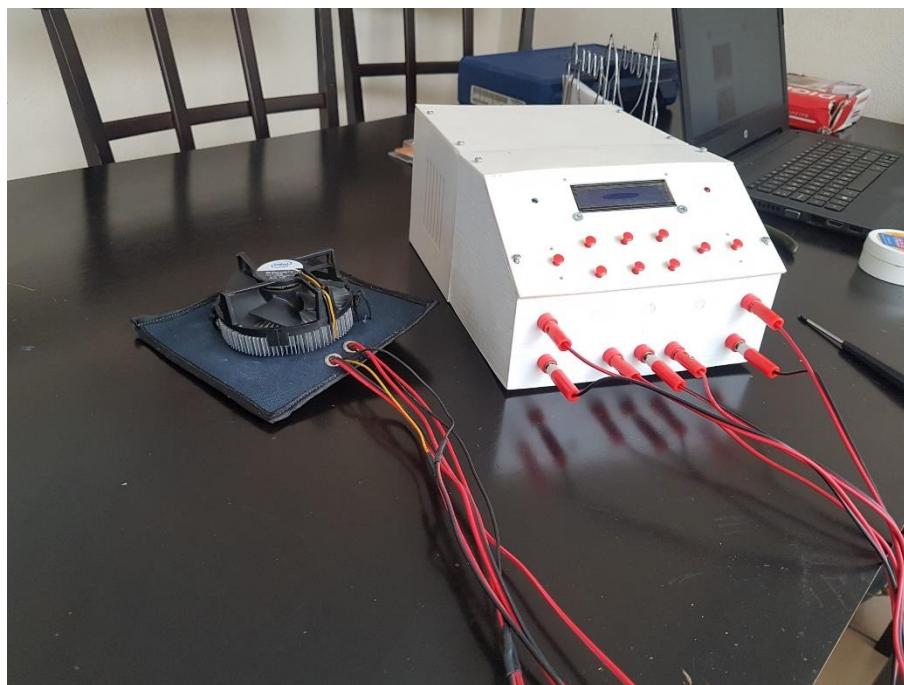
*Figura 3-8 Tarjeta Fuente de Alimentación.*



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”



*Figura 3-9. Caja o "Case" del Prototipo*



*Figura 3-10 Prototipo completo.*





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

## II. Presupuesto total.

En esta sección, se elaboró una tabla (Ver Tabla 3.1) con el costo monetario de cada uno de los elementos utilizados para la elaboración de este prototipo, cabe destacar que recursos como tiempo, movilización y trabajo no se tomaron en cuenta para esta tabla.

Componente	Cantidad	Precio unidad \$	Precio total \$
Pulsadores	9	-	1
Display LCD 16x2 (I2C)	1	3	3
Zumbador MB12A05	1	1.5	1.5
Diodo LED	2	-	0.5
Relé SRD-05VDC-SL-C	1	1.9	1.9
Celda Peltier TEC1-12706	1	2.3	2.3
Driver L298	1	9.8	9.8
Sensor LM35	1	3.8	3.8
Arduino UNO	1	17	17
Abanico	2	2.4	4.8
Puente Diodo	1	2	2
Capacitor Electrolítico 15,00µF	1	6.6	6.6
Resistencia	2	-	1
Regulador de Voltaje LM317	1	0.6	0.6
Regulador de Voltaje LM7805	1	0.6	0.6
Regulador de Voltaje LM338K	1	5	5
Capacitor Cerámico	4	0.86	3.44
Tarjeta de Cobre	2	1.5	3
Transformador Eléctrico	1	16.6	16.6
Case	1	40	40
Capacitor Electrolítico	2	1	2
Potenciómetro	2	1.2	2.4
Diodo 1N4007	4	1	4
			<b>Total=\$132.8</b>

Tabla 3.1. Presupuesto del Prototipo.





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### III. Resultados prácticos.

Como diseñador del prototipo, se realizaron pruebas para cada uno de los métodos de termoterapia integrados en este sistema, de las cuales se logró obtener la siguiente tabla (Ver Tabla 3.2), en la que podemos ver el tiempo y la temperatura para la termoterapia superficial y la crioterapia.

Método	Tiempo (Min)	Temperatura (°C)
Termoterapia Superficial (45°C)	1	44.48
	1,30	44.97
	3	43.50
	4,30	44.97
	6	45.40
	7,30	43.50
	9	44.97
	10,30	44.50
	12	44.97
	12,30	43.50
	15	0
Crioterapia (12°C)	1	12.71
	1,30	11.73
	3	12.22
	4,30	12.22
	6	12.22
	7,30	11.73
	9	12.22
	10,30	12.22
	12	11.73
	12,30	12.22
	15	0

Tabla 3.2 Resultados.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Capítulo 4 Conclusiones y recomendaciones.

#### I. Conclusiones.

En base a los objetivos propuestos para la realización de este “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia”, se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- De manera íntegra, usando como componente principal la Celda TEC1-12706, se logró el diseño y elaboración de un sistema multifuncional para realización de Termoterapia superficial y Crioterapia como métodos de tratamientos fisioterapéuticos.
- Apoyados en la investigación realizada en el Centro de Rehabilitación Aldo Chavarría del departamento de Managua, se tomó la decisión de diseñar la almohadilla para uso lumbar y en hombros, y además capaz de brindarle confort al paciente.
- Con el Arduino UNO, se creó un programa con el método de control Encendido/Apagado el cual nos permite ajustar la temperatura de cada uno de los tratamientos realizados
- También con el Arduino UNO, se logró programar el sistema para que el tiempo de sesión sea modificable por el operador según conveniencia de cada paciente, que al cumplirse dicho tiempo se apague automáticamente la sesión y se integró un botón de paro de tratamiento.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### II. Recomendaciones.

De acuerdo al tipo de interés que se le dé al proyecto, se realizaron las siguientes recomendaciones:

#### **A operadores del Sistema de Almohadilla Eléctrica:**

- En caso que este prototipo se aplicará en algún centro de salud u hospital, se recomienda pedir asesoría técnica al diseñador de este prototipo para su puesta en marcha.
- Se recomienda al operador del sistema, poner a prueba el sistema con pacientes para asegurar la correcta asimilación de cada tratamiento.
- De acuerdo a la cantidad de uso que tenga el dispositivo, se recomienda realizar un mantenimiento periódico de seis meses para asegurarse que tenga un funcionamiento eficaz.

#### **A estudiantes de Ingeniería Electrónica:**

- Se recomienda anexar un sistema de paro de sesión en caso de que uno de los componentes de dicho dispositivo esté funcionando incorrectamente o no esté funcionando.
- Siguiendo los pasos del “Internet de las Cosas”, se recomienda agregar una etapa que permita el monitoreo y el control del sistema desde un teléfono celular con el objetivo de mejorar la eficiencia del tiempo en los lugares donde se brinde el servicio.
- Se recomienda, cambiar por un teclado numérico los pulsadores en la etapa de entradas del proyecto.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

- Por último, con el fin de obtener un sistema más completo, se recomienda agregar un sistema de respaldo de alimentación eléctrica, que permita en caso de fallos de la red comercial, poder continuar realizándose el tratamiento hasta su finalización.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### Bibliografía

- Arduino. (s.f.). *Arduino - Home*. Obtenido de <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>
- Cordero, J. M. (2008). *Agentes físicos Terapeuticos*. La Habana-Cuba: Editorial Ciencias Médicas.
- García-Serrano, A. R.-C. (26 de Enero de 2016). *Termoelectricidad / Nanotecnología*. Obtenido de <https://nanotecnologia.fundaciontelefonica.com/2016/01/26/termoelectricidad/>
- Krause, P., & Garré, C. (1929). *Terapéutica general y aplicada de las enfermedades internas: Métodos terapéuticos de las enfermedades internas, Volumen 1*. Barcelona: Manuel Marín, version Español.
- Medina, A. (2013). *Pontificia Universidad Catolica del Peru*. Obtenido de Tesis PUCP: [http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/123456789/5091/4/MEDINA\\_ALFREDO\\_DISPOSITIVO\\_TERAPIA\\_TERMICA\\_CONTROL\\_DIGITAL\\_PRINCIPIO\\_PELTIER.pdf](http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/123456789/5091/4/MEDINA_ALFREDO_DISPOSITIVO_TERAPIA_TERMICA_CONTROL_DIGITAL_PRINCIPIO_PELTIER.pdf)
- Pontigo, L. (2011). *Rediseño y construcción de un termo-estimulador*. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2011/bmfcp816r/doc/bmfcp816r.pdf>
- Stromquist, E. (29 de Mayo de 2015). *Entender: Encendido/Apagado*. Obtenido de <http://controltrends.org/building-automation-and-integration/05/entender-encendidoapagado-flotante-control-modularproporcional/>



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

Anexos.

I. Manual de Operación.

Nombre del Pulsador	Objetivo del Pulsador
Menú (M)	Ingresar al menú del tratamiento
Tiempo (T)	Elegir la variable tiempo para ajustarla
Temperatura (T°)	Elegir la variable temperatura para ajustarla
Incremento de tiempo (T±)	Incrementar el valor del tiempo del tratamiento
Incremento de temperatura (T°±)	Incrementar el valor de la temperatura del tratamiento
Crioterapia (Crio)	Seleccionar el modo de Crioterapia
Termoterapia (Ter)	Seleccionar el modo de Termoterapia Superficial
Enter (E)	Introducir valores de tiempo y temperatura.
Stop (S)	Suspender el tratamiento

Tabla Anexos.1 Manual de Operación.

Paso número uno: Pulsar botón **Menú(M)** para acceder al menú del dispositivo.

Paso número dos: Pulsar botón **Tiempo(T)** para acceder al ajuste del tiempo.

Paso número tres: Pulsar botón **Incremento del tiempo(T±)** para incrementar el tiempo entre 1 y 15 minutos.

Paso número cuatro: Pulsar botón **Temperatura(T°)** para acceder al ajuste de la temperatura.

Paso número cinco: Pulsar botón **Incremento de temperatura(T°±)** para incrementar la temperatura entre 45 y 48 grados Celsius para Termoterapia Superficial y entre 10 y 12 grados Celsius para Crioterapia.

Paso número seis: Pulsar botón **Enter(E)** para introducir valores de tiempo y temperatura ajustados anteriormente.

Paso número siete: Pulsar botón **Termoterapia(Ter)** o **Crioterapia(Crio)** para elegir y poner en marcha el tipo de tratamiento a realizar.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### II. Simulación total en Proteus del prototipo de sistema de almohadilla eléctrica para rehabilitación corporal por termoterapia superficial y crioterapia

Con la ayuda del Software Proteus, se logró la simulación total del prototipo de sistema de almohadilla eléctrica (Ver Figura Anexo-1), además esto sirvió como base para la elaboración en físico del circuito y su puesta a prueba en tabla de nodos. Una vez asegurado el correcto funcionamiento de cada etapa, se procedió a elaborar las pistas necesarias para cada sección donde fueron necesarias.

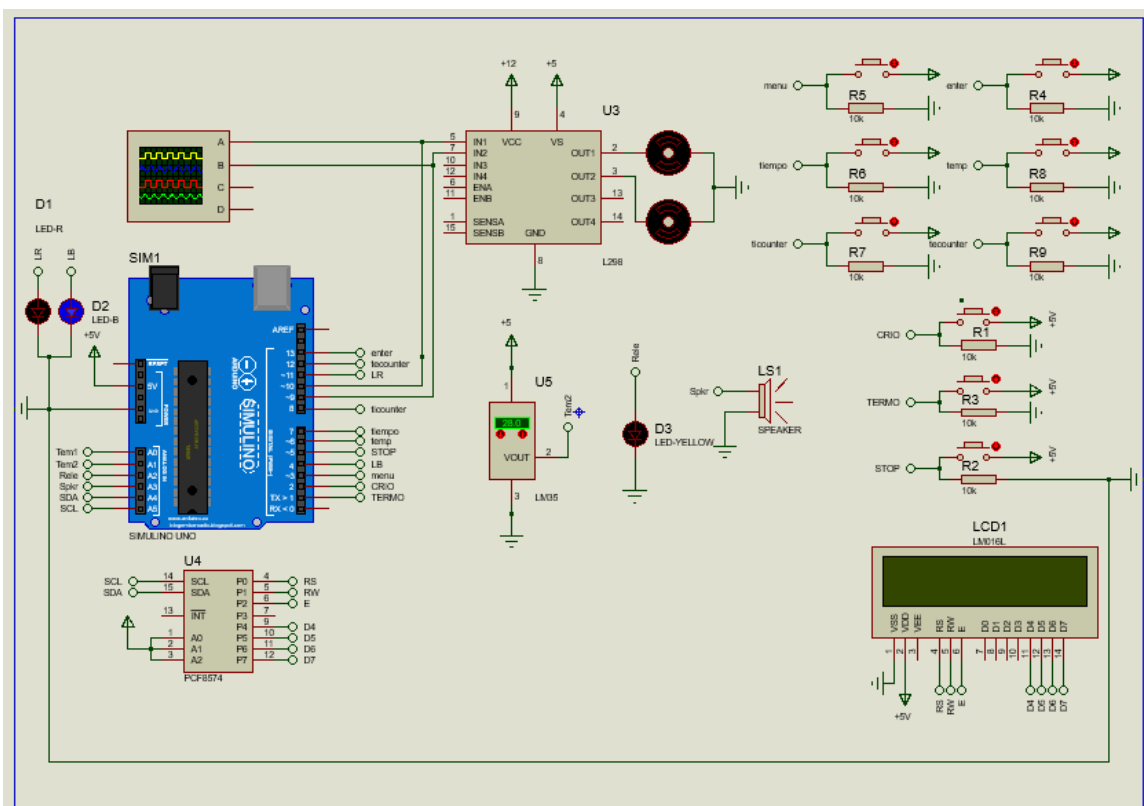


Figura Anexo-1. Simulación completa del prototipo.



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

### III. Código de programación.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

// Set the LCD address to 0x27 for a 16 chars and 2 line display
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

int buzzer = A3;
const int Rele = A2;

const int Crio= 2; // CRIO
const int Stop = 5; // STOP
const int Termo = 1; // TERMO

const int ledBPin = 4;    // the number of the LED pin
const int ledRPin = 11;

int segundo=0; //variable del segundo
int minuto=0; //variable del minuto
int pausa=0; //pausa=0 reloj funicono, pausa =1 reloj pausado
int crio=0;
int termo=0;

int IN1 = 10; // Salidas PWM al driver
int IN2 = 9;
```





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

// variables will change:

int button1State = 0; // variable for reading the pushbutton status

int button2State = 0;

int button3State = 0;

// pulsadores para tiempo y temperatura

int menu = 3; //Pulsador de menu

int ticounter = 8; //Pulsador aumento tiempo

int temp = 6; //Pulsador de temperatura

int tiempo = 7; //Pulsador de tiempo

int enter = 13; //Pulsador de enter

int tecounter = 12; //Pulsador aumento temperatura

int Rmenu = 0;

int Rtemp=0;

int Rtiempo = 0;

int Renter = 0;

int Rticounter = 0;

int lastRticounter = 0;

int buttonPushCounter = 0; // counter for the number of button presses tiempo

int Rtecounter = 0;

int lastRtecounter = 0;

int buttonPush2Counter =0; // counter for the number of button presses  
temperatura

float sensor1() // Funcion para leer el dato analogico y convertirlo a digital:

{



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
int dato1;  
float c1;  
dato1=analogRead(A0);  
c1 = (500.0 * dato1)/1023;  
return(c1);  
}
```

float celci() // Funcion para leer el dato analogico y convertirlo a digital:

```
{  
    float ct;  
  
    float c2;  
    int dato2;  
    dato2=analogRead(A1);  
    c2 = (500.0 * dato2)/1023;  
  
    ct= c2;  
  
    return (ct);  
}
```

void setup()

```
{  
  
    lcd.begin( ); //inicializamos LCD como una de 16x2  
    lcd.setCursor(3,0);
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
lcd.print("Bienvenido");  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Fijar parametros");  
delay(100);  
pinMode(buzzer, OUTPUT);  
pinMode(Rele, OUTPUT);  
digitalWrite(Rele, HIGH);  
pinMode(Crio, INPUT);  
pinMode(Stop, INPUT);  
pinMode(Termo, INPUT);  
pinMode(ledBPin, OUTPUT); // initialize the LED pin as an output:  
pinMode(ledRPin, OUTPUT);  
digitalWrite(ledBPin, LOW);  
digitalWrite(ledRPin, LOW);  
pinMode (IN2, OUTPUT); // Input4 conectada al pin 10  
pinMode (IN1, OUTPUT); // Input3 conectada al pin 9  
  
pinMode(menu, INPUT);//Pulsador de menu  
pinMode(temp, INPUT);//Pulsador de ingreso de temperatura  
pinMode(tiempo, INPUT);//Pulsador de ingreso de tiempo  
pinMode(enter,INPUT);//Pulsador de enter  
pinMode(ticounter, INPUT);//Pulsador aumento de tiempo  
pinMode(tecounter, INPUT);//Pulsador aumento de temperatura  
}  
  
void loop()  
{
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
//float Celcius = celci();

Rmenu= digitalRead(menu);

if(Rmenu==1)
{
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Tiempo");
  lcd.setCursor(0,1);
  lcd.print("Temperatura");
  digitalWrite(buzzer,LOW);
  digitalWrite(ledRPin, LOW);  // turn LEDs off:
  digitalWrite(ledBPin, LOW);
}

Rtemp= digitalRead(temp);//PROGRAMACION DE LA TEMPERATURA
if (Rtemp==1)
{
  // read the pushbutton input pin:
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Definir Temperatura: ");
}

Rtecounter = digitalRead(tecounter); //counter
Renter = digitalRead(enter); // enter
  // compare the buttonState to its previous state
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
if (Rtecounter != lastRtecounter) {  
    // if the state has changed, increment the counter  
    if (Rtecounter == HIGH) {  
        // if the current state is HIGH then the button  
        // went from off to on:  
        buttonPush2Counter++;  
        if (buttonPush2Counter == 49){  
            buttonPush2Counter = 1;}  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("Temperatura grados: ");  
        lcd.setCursor(0,1);  
        lcd.print(buttonPush2Counter);  
        delay (100);  
    } else {}  
    // Delay a little bit to avoid bouncing  
    delay(50);  
}  
  
if(Renter == HIGH){  
    digitalRead(buttonPush2Counter);  
    digitalRead(buttonPushCounter);  
    Rmenu=0;  
    Rtiempo=0;  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0); //nos posicionamos en la pantalla  
    lcd.print("Tiempo= "); //imprimimos el texto deseado
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
    lcd.print(buttonPushCounter);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Temperatura= ");  
    lcd.print(buttonPush2Counter);  
    delay (100);}
  
// save the current state as the last state,  
//for next time through the loop  
if (lastRtecounter = Rtecounter){}  
  
Rtiempo= digitalRead(tiempo); //PROGRAMACION DE EL TIEMPO  
if(Rtiempo==1)  
{  
    // read the pushbutton input pin:  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Definir Tiempo: ");  
}  
  
Rticounter = digitalRead(ticounter); //counter  
Renter = digitalRead(enter); // enter  
    // compare the buttonState to its previous state  
if (Rticounter != lastRticounter) {  
    // if the state has changed, increment the counter  
if (Rticounter == HIGH) {  
    // if the current state is HIGH then the button  
    // went from off to on:  
    buttonPushCounter++;
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
if (buttonPushCounter == 16){  
    buttonPushCounter = 1;}  
  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Tiempo minutos: ");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print(buttonPushCounter);  
    delay (100);  
} else {}  
  
// Delay a little bit to avoid bouncing  
delay(50);  
}
```

```
if(Renter == HIGH){  
    digitalWrite(buttonPushCounter);  
    digitalWrite(buttonPush2Counter);  
    Rmenu=0;  
    Rtiempo=0;  
    lcd.clear();  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("Tiempo= " );  
    lcd.print(buttonPushCounter);  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Temperatura= ");  
    lcd.print(buttonPush2Counter);  
    delay (100);}
```



## “Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
// save the current state as the last state,  
//for next time through the loop  
if (lastRticounter = Rticounter){}  
  
float Celcius = celci();  
  
// read the state of the pushbutton:  
button1State = digitalRead(Crio);  
button2State = digitalRead(Stop);  
button3State = digitalRead(Termo);  
  
if (button1State == HIGH){ //CRIO  
    crio=1;  
    termo=0;  
    pausa=0;  
    digitalWrite(ledBPin, HIGH); // turn LEDBlue on:  
    digitalWrite(ledRPin,LOW);  
}  
  
if(button3State == HIGH){ //TERMO  
    termo=1;  
    crio=0;  
    pausa=0;  
    digitalWrite(ledRPin,HIGH); //turn LEDRed on:  
    digitalWrite(ledBPin,LOW);  
}
```





“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
if(button2State == HIGH){ // STOP
    pausa=1;
    crio=0;
    termo=0;
    digitalWrite(ledRPin, LOW); // turn LEDs off:
    digitalWrite(ledBPin, LOW);
}

if(crio == 1) {           //INICIALIZACION CRIO
    if(buttonPush2Counter>9 && buttonPush2Counter<13){
        if(Celcius>=buttonPush2Counter){
            analogWrite(IN2, 254);//100%
            analogWrite(IN1, 0);
        }
        if(Celcius<buttonPush2Counter){
            analogWrite(IN2, 0); //0%
            analogWrite(IN1, 0);
        }
        digitalWrite(ledBPin,HIGH);
        digitalWrite(Rele, LOW);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0); //nos posicionamos en la pantalla
        lcd.print("Tiempo= "); //imprimimos el texto deseado
        lcd.print(minuto); //imprimimos el valor de la variable
        lcd.print(":"); //imprimimo dos puntos
        lcd.print(segundo); //imprimimos el valor de la variable
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
lcd.setCursor(0,1); //nos posicionamos en la pantalla
```

```
lcd.print("Temp= "); //imprimimos el texto deseado
```

```
lcd.print(Celcius); //imprimimos el valor de la variable
```

```
segundo++;
```

```
delay(1000);
```

```
if(segundo>59)
```

```
{
```

```
    segundo=00;
```

```
    minuto++;
```

```
    if(minuto>buttonPushCounter-1)
```

```
    {
```

```
        minuto=00;
```

```
        crio=0;
```

```
        digitalWrite (IN1, LOW);
```

```
        digitalWrite (IN2, LOW);
```

```
        lcd.clear();
```

```
        lcd.setCursor(0,0);
```

```
        lcd.print("TERMINADO");
```

```
        digitalWrite(buzzer,HIGH);
```

```
        digitalWrite(Rele, HIGH);
```

```
        delay(100);
```

```
    }
```

```
}
```

```
}
```

```
}
```

```
else
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
if(termo == 1) {                                //INICIALIZACION TERMO
  if(buttonPush2Counter>44 && buttonPush2Counter<49){
    if(Celcius<=buttonPush2Counter-10){
      analogWrite(IN1, 255); //100%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    if(Celcius>buttonPush2Counter-9.9 && Celcius<buttonPush2Counter-7){
      analogWrite(IN1, 229); //90%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    if(Celcius>buttonPush2Counter-7.1 && Celcius<buttonPush2Counter-5){
      analogWrite(IN1, 178); //70%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    if(Celcius>buttonPush2Counter-5.1 && Celcius<buttonPush2Counter-3){
      analogWrite(IN1, 153); //60%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    if(Celcius>buttonPush2Counter-3.1 && Celcius<buttonPush2Counter-1){
      analogWrite(IN1, 102); //40%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    if(Celcius>=buttonPush2Counter){
      analogWrite(IN1, 0); //0%
      analogWrite(IN2, 0);
    }
    digitalWrite(ledRPin,HIGH);
  }
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
lcd.clear();  
  
lcd.setCursor(0,0); //nos posicionamos en la pantalla  
lcd.print("Tiempo= "); //imprimimos el texto deseado  
lcd.print(minuto); //imprimimos el valor de la variable  
lcd.print(":"); //imprimimo dos puntos  
lcd.print(segundo); //imprimimos el valor de la variable
```

```
lcd.setCursor(0,1); //nos posicionamos en la pantalla  
lcd.print("Temp= "); //imprimimos el texto deseado  
lcd.print(Celcius); //imprimimos el valor de la variable
```

```
segundo++;  
delay(1000);  
if(segundo>59)  
{  
    segundo=00;  
    minuto++;  
    if(minuto>buttonPushCounter-1)  
    {  
        minuto=00;  
        termo=0;  
        digitalWrite (IN1, LOW);  
        digitalWrite (IN2, LOW);  
        lcd.clear();  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("TERMINADO");  
        digitalWrite(buzzer,HIGH);
```



“Prototipo de Sistema de Almohadilla Eléctrica para Rehabilitación  
Corporal por Termoterapia Superficial y Crioterapia.”

```
        delay(100);
    }
}
}
else {}
if (pausa==1){ // reinicia contador
    digitalWrite(buzzer,HIGH);
    delay(250);
    digitalWrite (IN1, LOW);
    digitalWrite (IN2, LOW);
    digitalWrite(Rele, HIGH);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("TERMINADO");
    pausa=0;
    crio=0;
    termo=0;
    segundo=0;
    minuto=0;
    delay(100);
}
}
```